

Examen Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum: 14 december 2020

examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

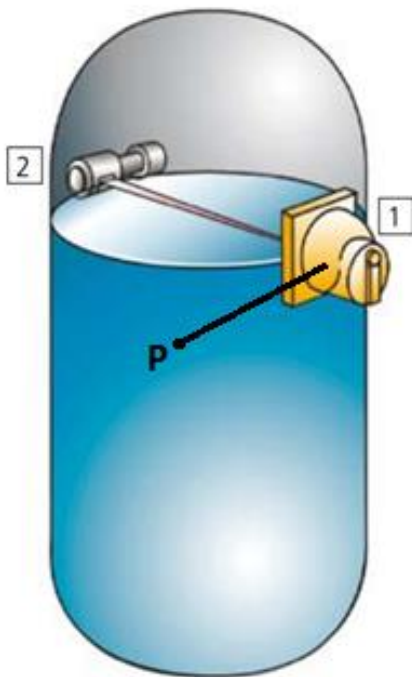
- ❑ **Dit examen omvat 10 genummerde pagina's en een losse bijlage met gegevens van 12 pagina's. Controleer dit!**
- ❑ Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen dient u in te leveren.
- ❑ Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- ❑ Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
- ❑ Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke **berekeningsmethode** en/of volgens welke **beredenering** u tot de oplossing komt.
- ❑ Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
- ❑ Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- ❑ In totaal kunt u 65 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
 - Vraagstuk 1: 15 punten
 - Vraagstuk 2: 16 punten
 - Vraagstuk 3: 14 punten
 - Vraagstuk 4: 20 punten
- ❑ U bent voor dit examen geslaagd als u minstens 55% van het totaal aantal punten hebt behaald. Dit komt overeen met een score van ten minste 35,75 punten.

Vraagstuk 1: Niveaumeting

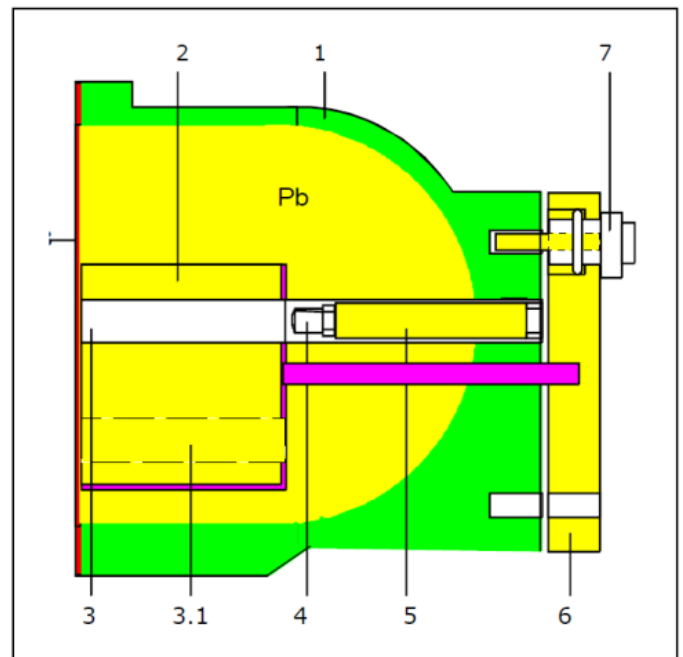
[15 punten]

Voor niveaumetingen in voorraadtanks wordt in de industrie gebruik gemaakt van hoogactieve bronnen. Aan de ene kant van het vat bevindt zich een bron en aan de andere kant, recht tegenover de bron, een detector. De uitgezonden gammastraling wordt geregistreerd door de detector. Afhankelijk van de hoogte van de voorraad in de tank zal de detector meer of minder pulsen meten.

De radioactieve bron bevindt zich in een bronhouder en kan worden afgesloten met een sluiting. De bronhouder is aan de buitenkant van het vat bevestigd en bevat een ⁶⁰Co-bron met een oorspronkelijke activiteit van 4 GBq. Deze bron is zes jaar geleden aangeschaft en heeft al die tijd in de bronhouder aan dezelfde tank vastgezeten.



Figuur 1. Gevuld vat met daarbij een hoogactieve bron. Bij 1 bevindt zich de radioactieve bron in de bronhouder en aan de tegenovergelegen zijde bij 2, de detector.



Figuur 2. Schets van de bronhouder met daarin de radioactieve bron. In de figuur is deze bron aangegeven bij 4. De sluiting die voor de bronopening gedraaid kan worden is afgebeeld bij 3.1.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 3:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015) blz. 74, gegevens ^{60}Co .
- **Bijlage blz. 4:** Radiological Health Handbook blz. 148, transmissiegegevens van diverse gammabronnen door lood.
- De bronhouder mag worden opgevat als een bol met een doorsnede van 22 cm.
- In het midden van de bronhouder bevindt zich de hoogactieve bron, omgeven door lood met een dikte van 97 mm.
- De buitenzijde van de bronhouder is van staal, de afschermdende werking hiervan mag worden verwaarloosd.
- Totale transmissie ^{60}Co door beide wanden van het vat is 0,71.
- De detector staat op een afstand van 210 cm vanaf de bron.
- Het detectoroppervlak is 40 cm².
- Het detectorrendement voor fotonen uitgezonden door ^{60}Co is 0,01 counts/foton.

Vraag 1.1 [4 punten]

Bereken het huidige omgevingsdosisequivalenttempo in punt P (zie figuur 1) op één meter afstand van het oppervlak van de bronhouder met daarin de ^{60}Co -bron. De sluiters is dicht.

Wanneer de sluiters wordt geopend, komt uit de opening een voldoende brede bundel om precies het hele detectoroppervlak (aan de tegenoverliggende zijde van het voorraadvat) te bestralen.

Vraag 1.2 [5 punten]

Hoeveel cps zal de detector weergeven wanneer het voorraadvat leeg is?

Het bedrijf besluit de oude bron te vervangen. De leverancier van de ^{60}Co -bron biedt een andere bron aan die in dezelfde bronhouder past. Het gaat om een ^{137}Cs -bron van 8 GBq.

Extra gegevens:

- **Bijlage blz. 5:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015) blz. 172, gegevens ^{137}Cs .
- Het detectorrendement voor fotonen uitgezonden door ^{137}Cs is 0,03 counts/foton.
- Totale transmissie van ^{137}Cs door beide wanden van het vat is 0,63.

Vraag 1.3 [6 punten]

Er zijn voor- en nadelen te noemen voor het vervangen van de ^{60}Co bron voor een ^{137}Cs bron. Noem vier voor- en/of nadelen en geef bij elk voor- of nadeel een argument. U scoort 1,5 punt per juiste combinatie van een voor- of nadeel en het argument. Meer dan vier goede antwoorden leveren geen extra punten op, foute antwoorden leveren puntaftrek op.

Vraagstuk 2: Inwendige besmetting [16 punten]

In een laboratorium waar met getritieerd water wordt gewerkt, wordt de activiteitsconcentratie van tritium in de lucht routinematig bepaald met behulp van vloeistofscintillatietellingen (LSC). Men laat waterdamp (van de lucht van het lab) op een koud oppervlak condenseren. Er wordt een telflesje gevuld met 1,0 mL van dit gecondenseerde water, waarna dit wordt aangevuld met scintillatiecocktail tot een totaal van 10 mL.

Op een maandagavond blijkt dit monster na 10 minuten tellen in een vloeistofscintillatieteller, een gemiddeld teltempo van 7355 tellen per minuut (tpm) op te leveren. Dat is ruim meer dan de gemiddelde achtergrond van 25 tpm. De vrijdag ervoor was de meting niet afwijkend. Daarom wordt geconcludeerd dat in de tussentijd een hoeveelheid tritium is geëkt. Het blijkt dat er een potje met daarin getritieerd water open heeft gestaan. De stralingsbeschermingsdeskundige berekent daarom de mogelijke stralingsbelasting van een werknemer die 8 uur werkzaam is geweest in dit lab. Hierbij wordt gekeken naar de hoeveelheid ingeademde besmette lucht.

Gegevens:

- **Bijlage blz. 6-7:** Handboek Radionucliden, A. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 18-19, gegevens ³H.
- In de laboratoriumruimte heerst een constante luchtvochtigheid van 15 gram water per m³ lucht.
- $\rho_{\text{water}} = 1 \text{ g/cm}^3$.
- Ga uit van een ademvolumetempo van 1,2 m³/h.
- Het telrendement van de gebruikte vloeistofscintillatieteller is 0,31 tpm/dpm voor tritiumhoudende monsters.
- In de vloeistofscintillatieteller wordt in het tritiumkanaal een achtergrond gemeten van 25 tpm gedurende 1 uur.

Vraag 2.1 [3 punten]

Bereken met behulp van de vloeistofscintillatietellingen de activiteitsconcentratie tritium (in Bq/mL) van het gecondenseerde water.

Vraag 2.2 [4 punten]

Bereken de maximale activiteitsconcentratie (in Bq/mL), uitgaande van een statistische onnauwkeurigheid van 3 sigma in de berekende activiteit.

Vraag 2.3a [2 punten]

Zou u als stralingsbeschermingsdeskundige bij de berekening van de blootstelling van de werknemer uitgaan van een evenwichtsactiviteitsconcentratie? Beargumenteer uw antwoord.

Vraag 2.3b [3 punten]

Wat is de maximale activiteitsconcentratie **in de lucht** (in Bq/m³) van het besmette laboratorium?

Vraag 2.4 [4 punten]

Bereken de effectieve dosis die de werknemer heeft ontvangen via inhalatie, met behulp van de berekende activiteitsconcentratie in de lucht van vraag 2.3b.

Vraagstuk 3: Prikincident

[14 punten]

Voor hersenonderzoek bij proefdieren wordt een aantal ratten geïnjecteerd met 50 MBq ^{123}I -IBZM (jodobenzamide) per dier. Na het injecteren is nog een kleine hoeveelheid radioactief materiaal aanwezig in de spuit. Ondanks diverse veiligheidsmaatregelen prikt de laborante zich met haar vinger aan de naald. Een kleine hoeveelheid radioactieve vloeistof komt hierdoor in de vingertop terecht. Na overleg met een nucleair geneeskundige wordt besloten een schildkliertelling te doen. Ongeveer een uur na het incident wordt bruto 95 cpm gemeten. Het achtergrondteltempo bij deze opstelling bedraagt 45 cpm. De gebruikte detector is zo afgeschermd dat vooral de straling uit de schildklier (ENG.: thyroid) wordt gemeten. Daarom mag bij deze meting de bijdrage van radioactief jodium in de rest van het lichaam worden verwaarloosd.



Figuur 1. Schildkliertelling.

Gegevens:

- Detectierendement voor de gebruikte meetopstelling: 60 cpm/kBq.
- Halveringstijd ^{123}I : 13,22 uur.
- **Bijlage blz. 8:** Procentuele radioactiviteitsverdeling over de organen na toediening van ^{123}I -IBZM, Nicolaas P.L.G. Verhoeff e.a., European Journal of Nuclear Medicine, september 1993.
- Effectieve volgdoziscoëfficiënt ^{123}I -IBZM: 0,034 mSv/MBq.

Vraag 3.1 [2 punten]

Bereken de activiteit in de schildklier op het moment van de meting.

Er zijn geen gegevens beschikbaar voor prikincidenten met ^{123}I . Daarom mag voor dit vraagstuk gebruik gemaakt worden van de tabel "Procentuele radioactiviteitsverdeling na toediening van ^{123}I -IBZM" waarin de distributie van ^{123}I na intraveneuze injectie te zien is bij zes gezonde proefpersonen. Voor dit vraagstuk mag uitgegaan worden van de in de tabel gegeven gemiddelden zonder toepassing van de gegeven standaarddeviatie.

Vraag 3.2 [4 punten]

Bereken hoeveel activiteit in het lichaam van de laborant is terechtgekomen tijdens dit incident.

Vraag 3.3 [2 punten]

Bereken de effectieve volg dosis voor de laborant als gevolg van dit incident.

Drie uur na het incident wordt alle door de laborant uitgescheiden urine verzameld (300 mL). Hiervan wordt 10 mL vermengd met telvloeistof en gedurende 1 minuut gemeten in de vloeistofscintillatieteller.

Extra gegevens

- **Bijlage blz. 9:** Handboek Radionucliden, A. Keveling Buisman (3^e druk 2015), blz. 156, gegevens ^{123}I .
- ^{123}I wordt goed in een vloeistofscintillatiedetector gemeten vanwege de uitgezonden elektronen. Deze elektronen van ^{123}I worden gemeten met een detectierendement van 0,6 counts per uitgezonden elektron. De bijdrage van de fotonen aan het teltempo mag worden verwaarloosd.

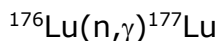
Vraag 3.4 [6 punten]

Bereken het teltempo in cpm per geïnjecteerde kBq van dit urinemonster.

Vraagstuk 4: Lutetium-177

[20 punten]

In de afgelopen jaren is er een sterke toename opgetreden in de toepassing van lutetium voor de behandeling van kanker. Het lutetium wordt geproduceerd in een kernreactor volgens de volgende reactie:



Een klant vraagt om levering van 500 GBq ^{177}Lu . De klant levert hiervoor 2 mg lutetiumnitraat ($\text{Lu}(\text{NO}_3)_3$) aan, met een verrijkingsgraad van 85% ^{176}Lu (de natuurlijk abundantie van ^{176}Lu is 2,59%). De tijd tussen productie en levering bedraagt 5 uur.

Gegevens:

- **Bijlage, blz. 10:** Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 204, gegevens ^{177}Lu .
- Het atoomgewicht van het verrijkte lutetium is 175,85 g·mol⁻¹.
- De molmassa van NO_3^{2-} is 62,03 g·mol⁻¹.
- Het getal van Avogadro is $6,022 \cdot 10^{23}$ mol⁻¹.
- De werkzame doorsnede voor thermische neutronen voor de reactie $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$ bedraagt $\sigma = 2100$ barn.
- Het fluentietempo in de reactor bedraagt $5 \cdot 10^{19}$ neutronen·m⁻²·s⁻¹.
- Activering wordt berekend volgens onderstaande formule:

$A_t = N \phi \sigma (1 - e^{-\lambda t})$, waarin:

- A_t = activiteit ^{177}Lu na bestralingstijd t (in Bq)
- N = aantal bestraalde atomen
- Φ = fluentietempo (m⁻² s⁻¹)
- σ = werkzame doorsnede (m²)
- λ = vervalconstante ^{177}Lu
- t = bestralingstijd (s)

Vraag 4.1 [3 punten]

Bereken het aantal atomen ^{176}Lu in de geleverde 2 mg lutetiumnitraat.

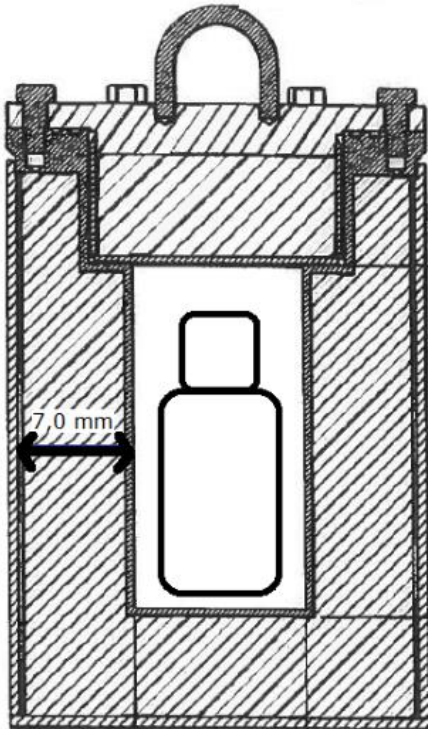
Vraag 4.2 [5 punten]

Bereken wat de bestralingstijd (in uren) moet zijn om aan de vraag van de klant te voldoen.

Het transport vindt plaats in een Type A-collo. Dit collo bestaat uit een container met een afscherming van 7 mm lood verpakt in een kartonnen doos van 42 x 42 x 42 cm. De doos is opgevuld met piepschuim zodat de activiteit exact in het midden van het collo zit.

Aanvullende gegevens:

- Alleen afscherming door lood hoeft meegenomen te worden bij transmissieberekeningen.
- De dichtheid van lood: $\rho_{\text{lood}} = 11,34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.
- De build-up door 7 mm lood van de fotonen van ^{177}Lu mag gelijkgesteld worden aan 1,0.
- **Bijlage, blz. 11:** Massieke verzwakkingscoëfficiënt van lood.
- **Bijlage, blz. 12:** Conversiecoëfficiënten van luchtkerma naar omgevingsdosisequivalent als functie van fotonenergie.



Figuur 1: loodcontainer (niet op ware grootte)

Vraag 4.3a [6 punten]

Bereken het maximale luchtkermatempo (\dot{K}) op het oppervlak van het collo. Neem aan dat de β -straling volledig geabsorbeerd wordt door het lood en de gevormde remstraling hierbij verwaarloosbaar is.

Vraag 4.3b [4 punten]

Bepaal de transportindex van dit collo.

Vraag 4.4 [2 punten]

Welk etiket moet op het collo geplakt worden? Geef alle gegevens die hierop ingevuld moeten worden.